

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.04.006

基于半导体制冷的巧克力3D打印成型条件研究^{*}

周世浩¹, 谭跃刚^{1*}, 张帆¹, 陈飞², 蒋世齐²

(1. 武汉理工大学机电工程学院, 湖北武汉 430070; 2. 武汉理工大学信息工程学院, 湖北武汉 430070)

摘要:针对自然环境温度较高时巧克力3D打印模型高度受限的问题,研究了满足巧克力3D打印的成型条件,在10℃~16℃之间为巧克力3D打印的最佳成型温度,以此为依据,利用fluent从热力学仿真角度,采用半导体制冷方法构建了3D打印成型环境,分析了影响成型条件的箱体空间、半导体制冷器功率多因素间的相互关系及外界温度对成型条件的影响,得出了巧克力3D打印机的设计依据。通过一定箱体空间及外界温度下是否安装半导体制冷器的巧克力3D打印对比实验,验证了设计的正确性。研究结果表明,半导体制冷能很好地改善巧克力3D打印成型环境,可以解决自然环境下巧克力3D打印的成型高度问题。

关键词:巧克力3D打印;成型条件;半导体制冷

中图分类号:TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)04-0351-06

Chocolate 3D print modeling conditions based on semiconductor refrigeration

ZHOU Shi-hao¹, TAN Yue-gang¹, ZHANG Fan¹, CHEN Fei², JIANG Shi-qi²

(1. School of Mechanical and Electronic Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. School of Information Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Aiming at limited height of the Chocolate 3D printing when the temperature of natural environment is high, chocolate 3D printing modeling conditions was studied, the optimum modeling temperature of chocolate 3D printing is from 10 centigrade to 16 centigrade, and on this basis, from the view of thermodynamic simulation using fluent, 3D printing modeling environment was constructed by adopting semiconductor refrigeration method, the relationship among multiple factors of the housing space and the power of semiconductor coolers that affect the modeling conditions, including the influence of ambient temperature on the modeling conditions were analyzed, and the design basis of chocolate 3D printer was reached. 3D printing comparative experiments of whether installing semiconductor coolers through certain housing space and at ambient temperature were conducted, which verifies the validity of the design. The results indicate that semiconductor refrigerator can greatly improve the chocolate 3D printing modeling conditions, as well as solve the problem of Chocolate 3D printing modeling height under the condition of natural environment.

Key words: chocolate 3D printing; modeling conditions; semiconductor refrigeration

0 引言

目前3D打印技术广泛应用在食品行业,3D食品打印将对食品个性化需求、人类生活方式以及太空旅

行等问题产生深远影响^[1-2]。巧克力不仅是大众喜爱的休闲食品,而且含有天然抗氧化剂黄酮素,能防止血管变硬、增加心肌活力,对防治心血管疾病有一定功效。黑巧克力含有酚醛类物质(黄酮素就是其中一

收稿日期:2016-10-24

基金项目:湖北省科技支撑计划项目(2014BAA018);中央高校基本科研业务费资助项目(2016-JD-A1-01)

作者简介:周世浩(1994-),男,湖北天门人,硕士研究生,主要从事3D打印方面的研究. E-mail:664369397@qq.com

通信联系人:谭跃刚,男,教授,博士生导师. E-mail:mingtian1688@icloud.com

种),能杀死导致癌症和心脏病的受损细胞^[3],将巧克力与3D打印结合,定制化巧克力形状,使得巧克力3D打印在拥有上述好处外,还将拥有更多的趣味性和扩展性。国内外大部分巧克力3D打印主要针对的是平面打印,英国埃克塞特大学设计的巧克力打印机为世界首台巧克力打印机,需专用仪器设备保证冷却循环保证打印较高的物体,武汉巧意科技有限公司与北京沃夫森科技有限公司所制作的巧克力打印机精度较高,然而只能平面打印,哈尔滨工业大学与上海万物智能打印科技有限公司推出巧克力打印机可以实现固体连续进料,能够在适宜的外界温度下打印较高的模型,但在外界温度升高时,难以实现立体打印。根据温度与巧克力的特性,温度越高,越易挤出;温度越低,冷却时间越短,但也越容易堵塞喷头。在巧克力3D打印中,需要保证巧克力温度较高能顺利挤出,这就导致巧克力打印成型时温度较高,打印的物体不能过高。

半导体制冷由于无滑动设备,与传统的机械制冷相比,在高精度和高可靠性的应用中有着独特的优势^[4],它构造比较小巧简洁,也多用于对小空间和电子元件降温^[5]。通过采用整体封闭式箱体结构与半导体制冷装置,保证外界条件改变的情况下,箱体内能够保持一定范围,提高巧克力冷却速度,实现巧克力3D打印。

由于季节、外部环境以及材料本身不同,巧克力的冷却时间有所区别,本研究针对巧克力3D打印的成型环境问题,研究巧克力3D打印的成型条件,仿真分析半导体制冷器与箱体封闭环境的关系,设计面向巧克力3D打印的半导体制冷成型环境,并进行实验分析。

1 巧克力3D打印模式及成型条件

1.1 巧克力3D打印模式

熔融沉积成型(FDM)3D打印属于增材制造^[6],由于其低成本、易于实现等优点,被人们广为熟悉。本研究将巧克力、奶油或糖果通过加热器融化,挤压喷出,在三维模型切片处理的G代码文件驱动下按截面形状堆积一个层面,第2个层面用同样的方法建造出来,并与前一个层面熔接在一起,层层堆积获得三维实体。

在巧克力3D打印中,巧克力在挤料筒中通过活塞挤出,经过加热管中的导管导料,最后通过喷嘴喷出。

在这种工艺中,有两点是至关重要的:材料的顺利

挤出和层层堆积。

针对材料的挤出,需要加热保持其流动性才能顺利挤出。针对材料的层层堆积,在打下一层前,保证上一层已经凝固。这就需要考虑打印时每一层巧克力的冷却时间,如果下面的巧克力尚未凝固就继续在上面堆积,必然会导致打印对象的坍塌,所以只有下面堆积的巧克力冷却到足够承受上面的重量和融化的巧克力散发的热量时才能继续堆积巧克力。

1.2 巧克力3D打印成型条件

巧克力融化温度如图1所示。

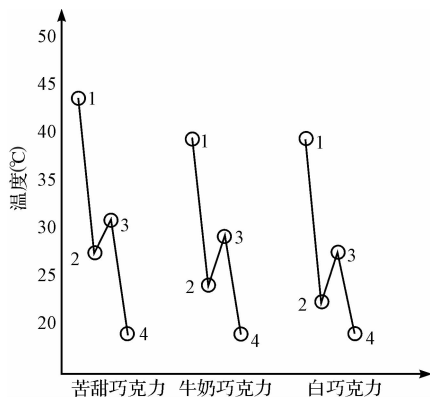


图1 巧克力制作调温过程折线图

制作过程中调温时,从左到右依次是苦甜巧克力、牛奶巧克力、白巧克力的3个温度折线图。

4个温度分别代表4个阶段:①隔水加热融化;②冷却降温;③升温;④冷却凝固包装的终点。其中苦甜巧克力融化温度最高,加热到45℃左右才能融化,再冷却至28℃,然后为便于注模、沾浸等操作升温至32℃,最后放置至20℃左右凝固包装。一般情况下巧克力配方中的乳脂肪含量每增加5%,巧克力融化温度会降低1℃。而牛奶巧克力和白巧克力中的乳脂肪含量比苦甜巧克力高,牛奶巧克力中隔水加热融化、冷却降温、升温、冷却凝固包装的4个温度分别是40℃、25℃、30℃、20℃,白巧克力分别为40℃、24℃、28℃、20℃^[7]。

以苦甜巧克力为例,比较图1上苦甜巧克力的4个温度,32℃~33℃是一个可以顺利挤出的温度。因此,温度条件是巧克力是否能够打印成功及保证打印质量的关键因素。需要巧克力能够快速冷却,从喷嘴出来材料快速失去流动性,下面堆积的巧克力足够承受上面的重量和融化的巧克力散发的热量,这才能有较好成型形状和成型高度。

苦甜巧克力物料在放出热量并从液态变为固态状态类似于一个调温的过程,该过程将可可脂中的不稳定

晶型变为稳定的晶型^[8]。例如 100 g 巧克力物料倒入冷却盘后,放置在 10 ℃ 左右的冷却室内,巧克力就从原来的初始温度 45 ℃ 降至 21 ℃,时间约 5 min,然后再降至 12 ℃,时间约 21 min,总冷却时间约需 25 min~30 min,而放置在 15 ℃ 左右的冷却室内,冷却时间翻倍。当然,冷却温度也并不是越低越好,巧克力制品温度太低,进入温度较高的环境,巧克力液体脂肪易迁移到制品表面形成霜花^[9],影响口感和外观,在冷却温度低于 8 ℃ 时,巧克力制品在进入温度较高的环境中会形成霜花。因此,冷却温度一般要求为 10 ℃~12 ℃,冷却后期还可以适当提高到 14 ℃~16 ℃,所以,巧克力物料的冷却速度与冷却温度有很大的关系,在保证巧克力的口感及外观的同时,可以认为冷却温度越低越好,进而在巧克力 3D 打印中最好取成型温度为 10 ℃~16 ℃。

2 巧克力 3D 打印成型环境热力学分析

影响箱体封闭环境的因素有箱体空间、半导体制冷片功率。笔者针对封闭式的箱体进行热力学分析,研究了箱体内的温度与箱体空间、半导体制冷片功率对应关系。

2.1 半导体制冷片机理

半导体制冷是利用帕尔贴效应^[10]进行制冷的,根据半导体材料的热电能量转换特性在其冷热端分别进行吸热和放热,半导体制冷的原理图如图 2 所示。

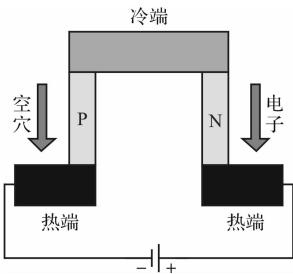


图 2 半导体制冷原理图

它由 P 型半导体、N 型半导体和金属板构成,两端加载电压后,P 型半导体的空穴由正极流向负极,金属板的空穴进入 P 型半导体时势能变大,越过势垒吸热、金属板变冷;P 型半导体中的空穴进入金属板时势能变小,放出热量,金属板变热。N 型半导体载流子为电子,热量传递同理可知^[11]。

当直流电通过两种不同半导体材料串联成的电偶时,在电偶的两端即可分别吸热和放热。通过采取调节输入电压的方式改变电流的大小,即可改变放热和吸热的大小^[12-13]。

2.2 半导体制冷与 3D 打印箱体空间关系

封闭箱体内部为小空间,加热管用于输送巧克力,需要恒温保证巧克力为熔融状态,两侧为半导体制冷器,对空间降温。巧克力打印机整体外观图如图 3 所示。

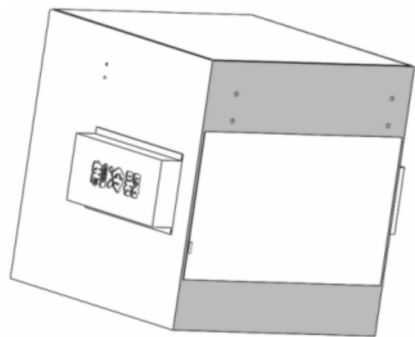


图 3 整体外观

巧克力打印机内部结构图如图 4、图 5 所示。

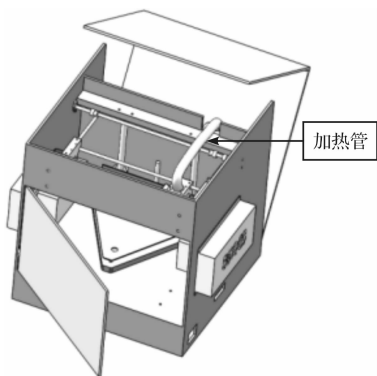


图 4 内部结构图一

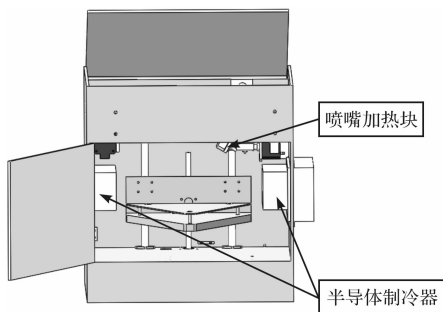


图 5 内部结构图二

箱体内的热源有加热管、喷嘴加热块(喷嘴加热块的功率不大,为便于仿真简化,总的加热量为是加热管的 1.1 倍计算),冷源有半导体制冷器,可以简化,简化图如图 6 所示。

箱体的内部空间长宽高为 0.37 m、0.27 m、0.34 m,箱体外界温度 25 ℃。

加热管为不锈钢,比热容 500 J/kg·k,密度 7 850 kg/m³,导热系数 15 W/m·k;箱体外壁为亚克力板,比热容 1 464 J/kg·k,密度 1 180 kg/m³,导热系

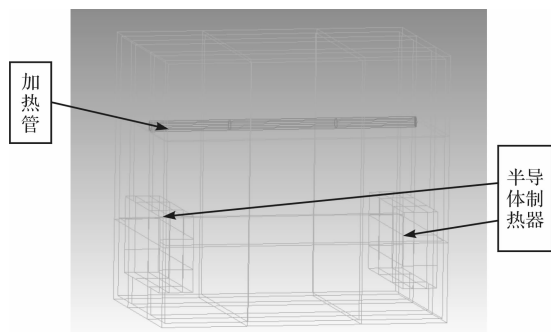


图 6 简化图

数 $0.18 \text{ W/m} \cdot \text{k}$; 半导体制冷器大部分为铝制散热片, 比热容 $880 \text{ J/kg} \cdot \text{k}$, 密度 2700 kg/m^3 , 导热系数 $237 \text{ W/m} \cdot \text{k}$;

加热管的生热速率为:

$$E_1 = \frac{Q_1}{A_1} \quad (1)$$

式中: Q_1 —加热管的功率, W ; A_1 —加热管的表面积, m^2 。

可知 $E_1 = 1399.87401 \text{ W/m}^2$ 。

在实际打印中加热管的外侧套了一层保温棉, 需要乘以隔热系数 0.1 , 并乘以折算倍数 1.1 , 则最终生热速率取 153 W/m^2 。每个半导体制冷器的功率为 100 W , 制冷效率为 $0.25^{[14]}$, 半导体制冷器的制冷速率为:

$$E_2 = \frac{Q_2}{S_2} \quad (2)$$

式中: Q_2 —半导体制冷器的有效功率, W ; S_2 —半导体制冷器的体积, m^3 。

可知 $E_2 = 31250 \text{ W/m}^3$ 。

本研究在 fluent 中设置参数以及边界条件^[15-16], 取箱体中心为参照点, 仿真结果如图 7 所示。

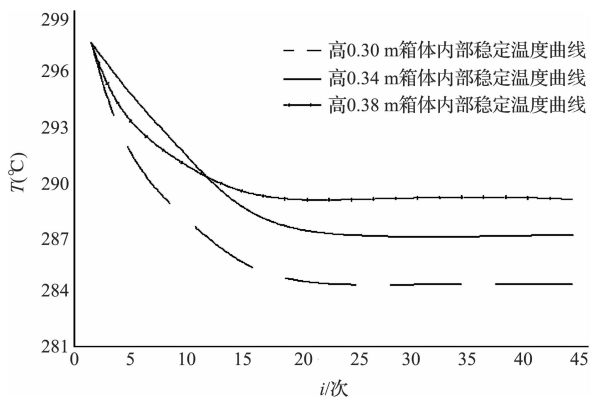


图 7 不同箱体空间大小内部稳定温度曲线

可知箱体内部空间稳定后的温度大约为 14°C (图中为 297°C , 减去 273°C , 换算得 14°C 。下同)。

同理改变箱体的内部空间长宽高为 0.37 m 、

0.27 m 、 0.38 m 。在 fluent 中设置参数以及边界条件, 取箱体中心为参照点, 仿真结果见图 7, 可知箱体内部空间稳定后的温度大约为 16°C 。

笔者改变箱体的内部空间长、宽、高为 0.37 m 、 0.27 m 、 0.3 m , 在 fluent 中设置参数以及边界条件, 取箱体中心为参照点, 仿真结果见图 7, 知箱体内部空间稳定后的温度大约为 12°C 。

由上述 3 种情况可知: 在箱体外界温度为 25°C 、半导体制冷器功率为 100 W 、箱体空间长宽为 0.37 m 和 0.27 m 时, 箱体空间高分别为 0.3 m 、 0.34 m 、 0.38 m 所对应的稳定温度为 12°C 、 14°C 、 16°C , 说明随着箱体空间变大, 箱体内部空间稳定后的温度越高。

2.3 半导体制冷器功率影响关系

笔者以箱体的内部空间长宽高为 0.37 m 、 0.27 m 、 0.34 m 和箱体外界温度为 25°C 的这一情况为基准, 改变半导体制冷器的功率。

箱体外界温度 25°C , 改变半导体制冷器的功率为 84 W , 在 fluent 中设置参数以及边界条件, 取箱体中心为参照点, 仿真结果如图 8 所示。

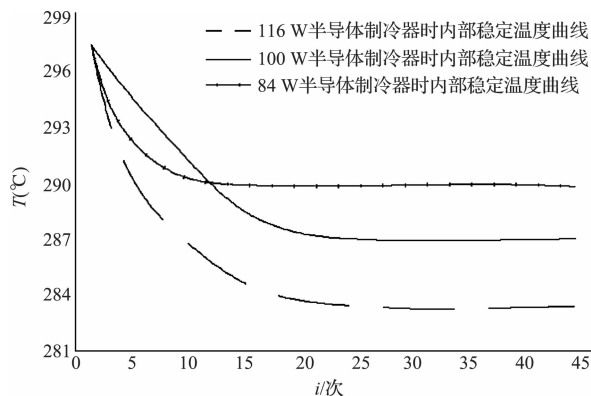


图 8 不同半导体制冷器功率时内部稳定温度图

可知箱体稳定后的温度大约为 17°C 。

笔者改变半导体制冷器的功率为 116 W , 在 fluent 中设置参数以及边界条件, 取箱体中心为参照点, 仿真结果为图 8, 知箱体稳定后的温度大约为 10°C 。

由上述 3 种情况可知: 在箱体外界温度为 25°C 、箱体空间长、宽、高分别为 0.37 m 、 0.27 m 和 0.34 m 时, 半导体制冷器功率分别为 84 W 、 100 W 、 116 W 所对应的稳定温度为 17°C 、 14°C 、 10°C , 说明随着半导体制冷器功率变大, 箱体内部空间稳定后的温度越低。

2.4 半导体制冷与 3D 打印箱体外界温度关系

箱体外界温度的变化将会引起箱体内部稳定温度的改变, 直接影响巧克力 3D 打印成型效果。根据 1.2 节中有巧克力 3D 打印成型条件成型温度为 $10^\circ\text{C} \sim$

16℃,但实际巧克力3D打印过程中发现在10℃~16℃温度区间附近也能打印成功,故允许温度误差为±2℃,那么保证巧克力3D打印能够成型的箱体内部温度应为8℃~18℃。笔者设定箱体内部空间长宽高分别为0.37 m、0.27 m、0.34 m,半导体制冷器功率为100 W,分析箱体外界温度的改变对内部成型环境的影响。

笔者改变箱体外界的温度为20℃,在fluent中设置参数以及边界条件,取箱体中心为参照点,仿真结果如图9所示。

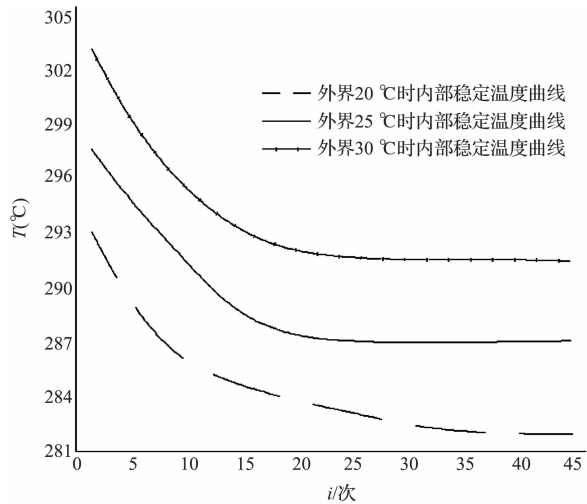


图9 不同外界温度时箱体内部稳定温度图

可见箱体内部空间稳定后的温度大约为9℃。改变箱体外界的温度为30℃,在fluent中设置参数以及边界条件,取箱体中心为参照点,仿真结果如图9所示,知箱体内部空间稳定后的温度大约为19℃。

由上述3种情况可知:在半导体制冷器功率为100 W、箱体空间长宽高分别为0.37 m、0.27 m和0.34 m时,箱体外界温度分别为20℃、25℃、30℃所对应的稳定温度为9℃、14℃、19℃,说明在箱体外界温度为20℃~30℃时,通过两个功率为100 W的半导体制冷器制冷,能使箱体内部稳定温度保持在9℃~19℃,基本符合巧克力3D打印成型条件。

因此,为保证巧克力有较好的口感和外观,并在打印时能堆积到一定高度,笔者设计巧克力3D打印封闭箱体空间长、宽、高分别为0.37 m、0.27 m、0.34 m,半导体制冷器的功率100 W,在箱体外部温度为20℃~30℃时打印。

3 实验分析

为研究巧克力3D打印机打印过程中成型温度对打印质量的影响,笔者在不同成型环境中打印一个双柄杯子进行测试,测试件参数如图10所示。

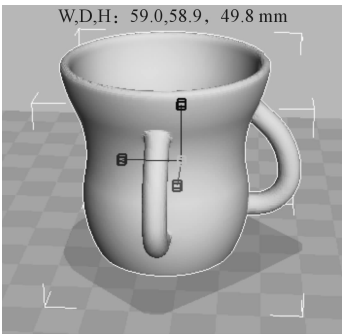


图10 测试件图

双柄杯子的最大长、宽、高分别为59 mm、58.9 mm、49.8 mm。巧克力3D打印机设备图如图11所示。

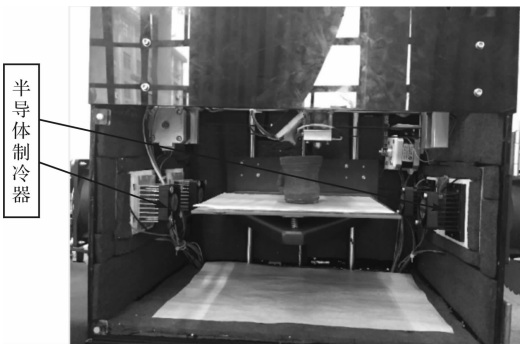


图11 巧克力3D打印机设备图

(1)不使用半导体制冷器

箱体的内部空间长宽高为0.37 m、0.27 m、0.34 m,箱体外界温度都为25℃,内部温度为26.3℃,巧克力材料使用的是苦甜巧克力,挤出温度设置为32℃,打印效果如图12所示。

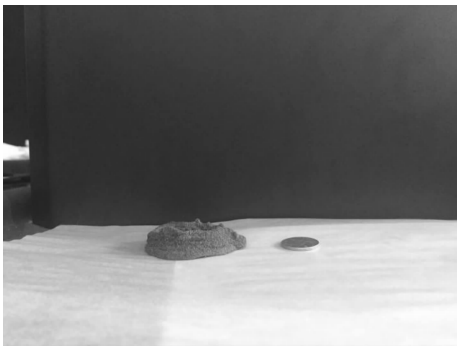


图12 未加半导体制冷器打印效果

巧克力3D打印空间为封闭箱体空间,外界温度为25℃并且封闭箱体空间里面有热源,表明成型温度大于25℃时,巧克力3D打印在打下一层时,上一层还不足够承受上面的重量和融化的巧克力散发的热量,巧克力很难层层堆积至一定高度。

(2)使用半导体制冷器

箱体的内部空间长宽高为0.37 m、0.27 m、0.34 m,箱体外界温度为25℃,箱体内稳定温度为

19.5 ℃,巧克力材料使用的是苦甜巧克力,挤出温度设置为 32 ℃,打印效果如图 13 所示。



图 13 加半导体制冷器的打印效果

巧克力 3D 打印空间为封闭箱体空间,外界温度为 25 ℃并且封闭箱体空间里面有热源,但是与上一个实验不同的是,因为半导体制冷器的制冷,使巧克力 3D 打印空间内的温度稳定在 19.5 ℃,表明成型温度为 19.5 ℃时,巧克力 3D 打印在打下一层时,上一层足够承受上面的重量和融化的巧克力散发的热量,巧克力 3D 打印能层层堆积至一定高度。

对比实验综合参数如表 1 所示。本研究在这一组对比试验中,巧克力 3D 打印对成型环境要求比较严格,只有保证一定温度环境才能打印成功,并证明了半导体制冷器与封闭的 3D 打印箱体空间设计的合理性。

表 1 对比实验综合参数

参数	条件	内部空间/m	外界温度/(℃)	挤出温度/(℃)	内部温度/(℃)	高度/mm
不使用半导体制冷器		0.37/0.27/0.34	25	32	26.3	18
使用半导体制冷器		0.37/0.27/0.34	25	32	19.5	48.5

4 结束语

(1)本研究采用半导体制冷方法研究 3D 打印成型环境。研究了影响封闭环境中的因素:箱体空间的大小、半导体制冷器功率,并通过仿真分析,得出如下结论:保证 3D 打印箱体外界温度以及半导体制冷器功率不变,3D 打印箱体空间越小,箱体内稳定温度越低;保证 3D 打印箱体空间的大小以及 3D 打印箱体外界温度不变,半导体制冷器的功率越大,箱体内稳定温度越低。

笔者分析外界温度的变化对箱体内部稳定温度的影响,设计巧克力 3D 打印封闭箱体空间长宽高分别为 0.37 m、0.27 m、0.34 m,半导体制冷器的功率 100 W,在箱体外部温度为 20 ℃~30 ℃,3D 打印封闭箱体空间稳定温度为 9 ℃~19 ℃时打印,符合巧克力的成型条件。

(2)本研究针对巧克力 3D 打印成型环境进行了对比实验。在 3D 打印箱体的内部空间长、宽、高分别为 0.37 m、0.27 m、0.34 m,箱体外界温度为 25 ℃,半导体制冷器功率为 100 W 时,能够达到三维成型效果。

参考文献(References):

[1] 李光玲. 食品 3D 打印的发展及挑战[J]. 食品与机械, 2015,31(1):231-234.

[2] 毛卫东. 3D 打印制造伦理的问题及其价值探析[J]. 机电工程技术,2016,45(7):61-64.

[3] 席炎. 黑巧克力为何对心脏好[J]. 中国食品学报, 2014,14(3):234.

[4] 刘良斌,吴新开,卜志东,等. 半导体制冷片制冷性能评估系统[J]. 微型机与应用,2014,33(2):82-83.

[5] 赵培聪,袁广超,陈恩,等. 半导体制冷片对电子元件降温效果的试验研究[J]. 流体机械,2012,40(3):64-66.

[6] 卢秉恒,李涤尘. 增材制造(3D 打印)技术发展[J]. 机械制造与自动化,2013,42(4):1-4.

[7] 魏强华,高荫榆,何小立. 巧克力调温工艺及其发展[J]. 食品与机械,2003(1):10-11.

[8] 伍胜. 巧克力调温技术发展[J]. 中国食品工业,2000(6):33-34.

[9] 贾呈祥,郑建仙. 巧克力起霜的研究进展[J]. 食品工业, 2001(6):7-9.

[10] JIA Yan-ting, XV Chang-gui, YAN Xian-guo, et al. Semiconductor refrigeration review[J]. Refrigeration, 2012,31(1): 49-55.

[11] ZHANG Hui, FAN Kuang-chao, WANG Jun. System design and simulation of constant temperature box using semiconductor refrigeration device[J]. International Journal of Computer Applications in Technology, 2010,37(1):146-152.

[12] 靳一帆,万熠,张冰,等. FDM 3D 打印机半导体制冷温控设计及其冷却实验研究[J]. 机电工程,2016,33(2):165-168.

[13] 阴贺生,赵文豪,宋杰,等. 基于三臂并联结构的桌面 3D 打印机[J]. 机械,2015,43(2):36-40.

[14] 戴维涵,代彦军,张鹏,等. 半导体制冷元件特性参数测量及选用[J]. 上海交通大学学报,2004,38(10):1669-1672.

[15] 陶文铨. 传热学[M]. 西安:西北工业大学出版社,2006.

[16] 张凯,王瑞金,吴立军. Fluent 技术基础与应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2010.

[编辑:李辉]

本文引用格式: